

УДК 629.12

В.А.ГОЛЕНДЕР, канд. техн. наук

Гуманитарно-технический институт, г.Харьков

Б.М.КОРЖИК, канд. техн. наук, Н.А.ГУБЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРАЦИЙ (ШУМА) ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЕГО ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В рамках продолжения диссертационных исследований и в связи с выполнением договора с Октябрьским депо «Горэлектротранс» рассматривается задача о выборе динамической модели вибрирующего трамвайного вагона и излучающего шум с целью разработки теоретико-экспериментальных метода и методики определения путей снижения виброакустической активности подвижного состава трамвая.

Причинно-следственная особенность возникновения вибраций, а следовательно, и излучения шума подвижным составом трамвая на транспортных магистралях городов и промышленных центров, связана в основном с механическими колебаниями трамвайных вагонов [1].

В связи с этим, для снижения нежелательных вибраций и вредного шума необходим детальный анализ динамики взаимодействия подвижного состава (ПС) трамвая с рельсами, как с составной частью верхнего строения пути. Такие исследования, безусловно, требуют корректного построения динамической модели трамвайного вагона, движущегося по неровностям рельсового пути. При чем, и это естественно, всегда необходимо экспериментальное подтверждение этой корректности. Только тогда, доведенная до определенного совершенства модель становится пригодной для решения практических задач ограничения уровня колебаний (вибраций и шума), и снижения виброакустической активности вагона трамвая, как единой системы «тяговый привод – трамвайный вагон – путь» [2].

В соответствии с техническим заданием Октябрьского депо ХКП «Горэлектротранс», эксплуатирующего вагоны Т-3, потребовалось создать пригодную для теоретико-экспериментальных исследований вибраций и шума линейную дискретную динамическую модель движения трамвайного вагона, с целью связать воедино составляющие исследуемых процессов шумообразования (рис.1). То есть: ПРИЧИНА (воздействие электрической тяги и движение трамвайного вагона по неровному рельсовому пути) – СЛЕДСТВИЕ (динамика переходных процессов и резонансных явлений, сопровождающаяся вибрацией элементов экипажной и ходовой частей ПС) – ПОСЛЕДСТВИЕ (шумоизлучение) [3].

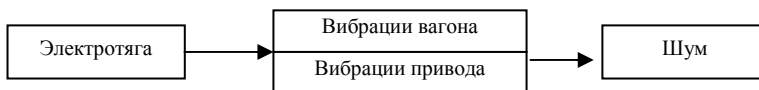


Рис.1 – Разомкнутая схема причинно-следственной связи шумоизлучения вагоном трамвая

Как видно из схемы, необходимо различать вибрации самой экипажной части и вибрации тягового привода трамвайного вагона.

Известно, что специфические условия эксплуатации трамвайных вагонов характеризуются частыми пусками, торможениями, движением с относительно высокими ускорениями (замедлениями) по неровностям рельсового пути. Соответственно, вибрации и шум от движущегося в городе трамвая имеют свои особенности воздействия на человека и его среду обитания. К числу этих особенностей, существенно отличающих ПС трамвая от магистрального транспорта, относится постоянно меняющаяся (в зависимости от наполнения пассажирами) масса вагона. Последнее приводит к изменению весового нагружения всего экипажа и особенно его ходовой части, а следовательно, к изменениям в широком диапазоне частотного спектра уровней вибраций и излучаемого шума.

Тем не менее, по аналогии с магистральным рельсовым транспортом, применительно к вагонам трамвая будем различать три вида нагружения экипажа и его движителя - бандажей колесных пар и рельсового пути. А именно:

статическое, связанное с действием неподвижной массы единицы ПС;

кинетостатическое, обусловленное перераспределением сил статики в виду ускоренного (замедленного) движения вагона;

динамическое - дополнительное нагружение, возникающее вследствие колебаний и вибраций вагона, движущегося по неровностям рельсового пути.

Кроме того, в контексте исследований вибраций вагона трамвая и излучаемого им шума, как уже отмечалось, следует учитывать и крутильную динамику тягового электропривода трамвайного вагона [4].

1. *Вертикальная динамика трамвайного вагона.* Вполне понятно, что при оценке статического нагружения элементов трамвайного вагона, и, прежде всего колеса и рельса, нет особых сложностей расчетного характера. Достаточно рассмотреть на уровне статической определенности схему нагружения всего экипажа, чтобы получить достоверные результаты, легко проверяемые экспериментальным путем.

Кинетостатическое перераспределение сил взаимодействия в под-

системе "колесо - рельс" также без затруднений устанавливается на основе второго закона Ньютона при учете движения системы с нормативными ускорениями (замедлениями). Однако в экспериментальном подтверждении этих расчетов уже возникают некоторые, вообще говоря, преодолимые сложности, связанные с точностью измерений ускорений акселерометрами (ускорениемерами).

Более сложной и трудоемкой является задача определения динамических составляющих сил непосредственно в зоне взаимодействия колеса и рельса, воздействующих и на весь экипаж и на верхнее строение рельсового пути в равной степени. Трудности эти обусловлены, прежде всего, тем, что до настоящего времени не существует высокоточных и надежных методов экспериментального решения этой задачи.

В связи с этим в практике решения задач динамики вагонов многие исследователи [5] идут по теоретическому пути - пути наиболее полного включения в модель влияющих факторов: учета инерционных, упругих и диссипативных составляющих сил взаимодействий, в том числе и контактных явлений в подсистеме "колесо-рельс".

Безусловно, что в постановочной части задачи теории, чем большее число параметров включено в вибрирующую динамическую модель трамвайного вагона, тем более точные результаты следует ожидать при ее решении. Однако, это утверждение справедливо лишь при условии достоверности первичного материала, на базе которого строится методика исследований вибраций и шумоизлучения динамической системой. Последняя оговорка особенно существенна для нелинейных объектов, к которым относится трамвайный вагон.

Усложнение здесь, не подкрепленное достаточной точностью исходных данных, может привести лишь к кажущемуся уточнению, но в то же время создает ощутимые трудности расчетного характера.

В указанном смысле характерно общепринятое для магистрального транспорта условное разложение сил взаимодействия в зоне контакта колеса с рельсом на две составляющие: горизонтальную и вертикальную, и, соответственно, с исследованием вертикальной и горизонтальной динамики вагона. Это связано с тем, что на железнодорожном транспорте используют колесные пары, где конусность поверхности катания их бандажей вызывает отклонение суммарной силы взаимодействия колеса и рельса от вертикали даже для неподвижного вагона. При движении, в связи со сложными пространственными колебаниями и вибрациями рельсового экипажа, это отклонение может быть менее или более значительным, что, в итоге, либо позволяет решать задачу

взаимодействия упрощенно, лишь в вертикальной плоскости, либо требует рассматривать ее как пространственную.

На ПС трамвая используют ходовые колеса с бандажами, имеющими цилиндрическую форму по поверхности катания колесных пар. К тому же скорости движения трамвайных вагонов в сравнении с магистральным транспортом на прямолинейных участках пути не соизмеримо малы, тем более – на криволинейных участках.

Поэтому при построении модели вибрирующего и излучающего шум движущегося трамвайного вагона можно ограничиться исследованием только вертикальной его динамики (рис.2).

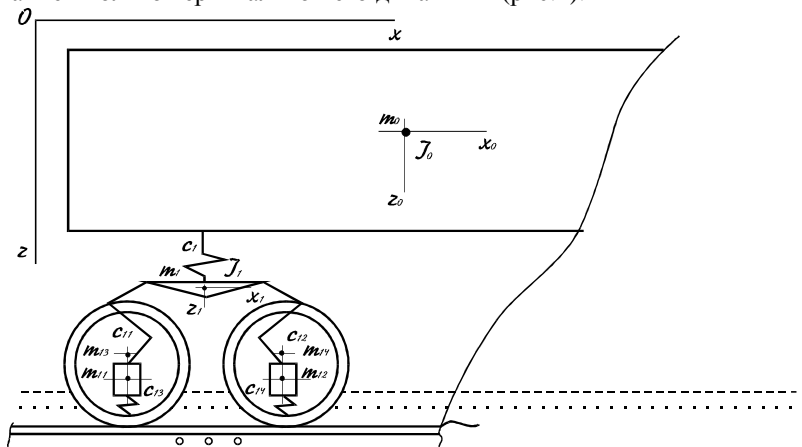


Рис. 2 – Схематическое представление модели вертикальной динамики трамвайного вагона

2. Крутильная динамика тягового привода вагона трамвая.

На рис.3 приведена функциональная схема преобразования тяговым электроприводом электрической энергии контактной сети в полезную работу вращения и перемещения инерционных масс трамвайного вагона в целом. Это преобразование подчинено основному требованию, – обеспечить относительное постоянство величины крутящего момента, развиваемого тяговым электрическим двигателем (ТЭД) при разгоне и торможении. Это требование обеспечивают полуавтоматические органы управления и регулирования режимами (ОУ) движения трамвайного вагона. Согласно схеме момент на валу ТЭД с помощью тяговой передачи (ТП), включающей в себя движитель (ходовые колеса с рельсами), преобразовывается в тяговое усилие, необходимое для сообщения вагону (В) заданного ускорения (замедления).

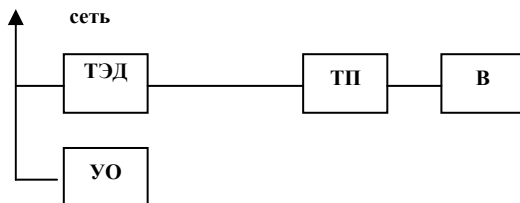


Рис.3 – Функциональная схема преобразования тяговым электроприводом электрической энергии

На рис.4 представлено, как от кинематической схемы привода трамвайного вагона Т-3 (рис.4, а) перейти к динамической модели ее крутильных колебаний (рис.4, б).

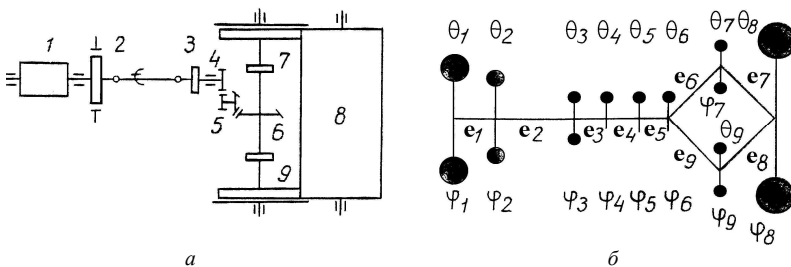


Рис.4 – Переход от кинематической схемы к ее динамической модели для крутильной системы тягового привода трамвайного вагона Т-3

Согласно схеме, крутящий момент, развиваемый двигателем (1 – якорь ТЭД), передается через редуктор (4, 5, 6) на подрезиненные колеса (упругие связи 7-8 и 8-9). Упругая связь между якорем ТЭД и тяговым редуктором осуществляется с помощью двухшарнирного подрезиненного карданного вала (2-3). Редуцирование крутящего момента от ТЭД выполняет двухступенчатый редуктор согласно схеме: сначала цилиндрической зубчатой передачей (4-5), затем конической (5-6). Барабан колодочного тормоза (2) расположен на валу ТЭД, и выполняет функции служебного и экстренного торможения. Колесные центры (7 и 9) прессовой посадкой посажены на оси колесной пары. Инерционная масса (8) имитирует поступательное движение всего вагона.

Конструктивное исполнение тяговой передачи трамвайного вагона Т-3 позволяет различным деталям и узлам поставить в соответствие свой дискретный образ, характеризующий инерционные, упругие и диссипативные свойства и, таким образом, перейти от кинематической схемы к соответствующей расчетной динамической модели. В резуль-

тате имеем приведенную к валу ТЭД девятимассовую динамическую модель крутильных колебаний привода вагона Т-3 [6].

Термин «приведенная» употреблен здесь в том смысле, что действительные параметры жесткости, моментов инерции и демпфирования пересчитаны согласно правилам приведения расчетных крутильных систем к валу двигателя.

В первом приближении исследуется движение одиночного вагона на прямолинейном участке пути.

Основные элементы вагона: кузов, тележки, колесные пары и бандажи, обладая полной симметрией относительно продольной плоскости, совершают вертикальные и крутильные колебания и вибрации.

Связи между основными элементами упруго-диссипативные, с линейными характеристиками.

Источником возникновения колебательных процессов являются кинематическое возбуждение вибраций, связанное с движением трамвайного вагона по неровностям рельсового пути, определяемое детерминированным образом, а так же, - с преобразованием вращательного движения элементов тягового привода в поступательное движение вагона.

Движение колеса по рельсу считается безотрывным и без юзового проскальзывания и боксования.

Колеса и уровень расположения головок рельсов находятся в плоскости движения экипажа, с неровностями, одинаковыми для обеих рельсовых ниток.

Таким образом, основываясь на принципе независимого действия сил, справедливого для линейных систем, кинетостатические составляющие нагрузок определяются из рассмотрения равновесия системы при движении с ускорением (замедлением), динамические добавки находятся из решения задачи о колебаниях, как при дискретно равномерном движении экипажа по неровному пути.

Исследуются малые вибрации системы относительно одного из положений равновесия.

С учетом принятых допущений и рассмотренных специфических условий эксплуатации трамвайных вагонов решаемые задачи в исследованиях базируются на классических уравнениях Лагранжа второго рода.

1. Губенко В.Д. Исследование процессов шумоизлучения рельсового горэлектротранспорта с целью снижения их вредного воздействия на организм человека: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1991.

2. Губенко Н.А., Голендер В.А., Губенко В.Д. Виброакустическая активность трамвая, оценка и пути ее снижения // Строительство, материаловедение, машиностроение

ние: Сб. науч. трудов. Вып. 28. – Днепропетровск, 2004. – С.242-246.

3.Губенко Н.А., Губенко В.Д. Идентификация основных источников шума рельсового транспорта и методы его снижения // Тези доп. наук.-метод. конф. «Безпека життєдіяльності». – Харків, 2003.

4.Губенко Н.А. Перспективы развития трамвайного сообщения в мировой практике // Тези доп. наук.-практ. конф. «Безпека життєдіяльності». – Харків, 2004.

5.Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986.

6.Голендер В.А., Губенко Н.А., Коржик Б.М. Виброакустическая активность подвижного состава трамвая, оценка и пути ее снижения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 58. – К.: Техніка, 2004. – С.235-239.

Получено 15.08.2005

УДК 530.19

В.Э.АБРАКИТОВ, И.Т.КАРПАЛЮК, кандидаты техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ГЛОБАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ТЕОРИЯ, ОБЪЯСНЯЮЩАЯ ПРОЦЕССЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЗВУКОВОЙ ВОЛНОЙ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СРЕД

Сущностью предлагаемой теории снижения шума является признание факта, что ослабление интенсивности звуковой энергии при столкновении звуковой волны с преградой происходит за счёт видоизменения векторов колебательной скорости и смещения волны при пересечении границ раздела различных сред, т.е. за счёт преобразования продольной звуковой волны в поперечную, например, при переходе границы раздела сред: "воздух - твёрдое тело" (снижение шума при падении звуковой волны из воздуха на звукоизолирующий экран); за счёт изменения направления векторов колебательной скорости и смещения (преобразование поперечной волны одного типа в поперечную же волну другого типа) при переходе границы раздела двух твёрдых тел с разными физико-химическими характеристиками (снижение шума внутри многослойной звукоизолирующей панели типа "сэндвич") и др.

Существует великое множество научных теорий, объясняющих механизм снижения шума в различного рода шумозащитных устройствах: звукоизолирующих панелях и экранах, звукопоглощающих облицовках и др. [1]. Этот вопрос исследовался в трудах известных учёных-акустиков: Осипова Г.Л., Юдина Е.Я., Сафонова В.В., Самойлюка Е.П. и др., в исследованиях зарубежных авторов, ему посвящены многочисленные диссертационные работы, и т.п. В частности, ему была посвящена также собственная кандидатская диссертация одного из авторов этой работы [2]. Однако каждый из исследователей, - (в т.ч. и автор настоящей работы в своих ранних трудах [2]), создавая собственную теорию снижения шума, исследует узкую, локальную область приложения результатов его исследований. В то же время было бы интересно интегрировать их достижения в разных подобластях акустики, соз-